

博士學位論文

論文の内容の要旨
および
論文審査の結果の要旨

甲第 138 号

甲第 139 号

平成 2 6 年度

東京都市大学

序

本編は学位規則（昭和28年4月1日文部省令第9号）第8条による公表を目的として、平成26年度内に本学において博士の学位を授与した者の、論文内容の要旨および論文審査の結果の要旨を収録したものである。

氏 名 (本籍)	小林 裕児 (神奈川県)
学 位 の 種 類	博士 (工学)
学 位 記 番 号	甲第 138 号
学位授与の日付	平成 27 年 3 月 19 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学 位 論 文 主 題	高効率低騒音冷却ファンの計算設計手法に関する研究
論 文 審 査 委 員	(主査) 教授 田中 康寛 教授 島野 健仁郎 教授 大上 浩 教授 飯田 明由 (豊橋技術科学大学 教授)

論文内容の要旨

世界規模で地球環境への関心が高まっている中、自動車の排出ガス規制の強化は年々厳しくなっているため、排出ガスの低減を狙った電気自動車(EVs)やハイブリッド自動車(HVs)に代表されるエコカーの普及が急激に広まっている。また、自動車の機能向上及び快適性の向上に伴う部品点数の増加、エンジンの高出力化およびキャビンスペースの拡大によるエンジンルームのコンパクト設計によって、エンジンルーム内の熱環境は悪化している。エンジン冷却ファンは、自動車のエンジン冷却システムを決定付ける主要な部品の一つであるため、上述した要求の全てに応えるためには、高効率低騒音冷却ファンの開発が急務とされている。そこで、本研究はエンジン冷却ファンを対象に、高効率低騒音冷却ファンの計算設計手法の構築を最終目的とし、以下の項目に関する検討を行った。

1. 軸流ファンの設計指針の提案

冷却ファンに関する研究の歴史は長く、古くから 2 次元翼を対象にファンの形状パラメータの影響が調査されてきた。しかし、現在の冷却ファンの設計は理想流体を仮定したオイラーの翼理論と各企業が持つノウハウを基に行われている。このため、「前進翼が優れている」や「後退翼が優れている」等の設計者の様々な通説が存在する。本研究では、これらの通説を検証した上で、軸流ファンの設計指針を提案するために、3 次元翼を対象にファンの形状パラメータの影響について CFD を用いて検討した。具体的には、総翼面積・翼枚数・翼形状(前進・後退・ストレート)・翼取付け角度の検討を行い、個々の形状パラメータの影響を議論した。また、これらの影響を議論するために、ベルヌーイの定理とオイラーの翼理論を応用し、ブレード 1 枚の性能を基準とする 2 種類の新指標を提案する事で、翼列干渉の影響を定量化すると共に、個々の影響を流量毎に明らかにした。また、翼枚数、翼弦長、迎角などの主要な設計パラメータを忠実に相似に設計した場合、ファン性能は総翼面積に依存する傾向があり、この知見を基にそれぞれの形状パラメータに対する設計の考え方を提案した。

2. POD(Proper Orthogonal Decomposition, 固有直行分解)の計算設計への適用

高性能冷却ファンを設計するためには、冷却ファン周辺の流れ構造とファン性能の関連付けを行う必要がある。スーパーコンピュータ“京”を始め、昨今ではコンピュータの性能向上が急激に加速しているため、大規模非定常計算を実施し、詳細にファン周辺の流れ構造を分析する事も可能となってきた。一方、大規模計算後のデータ処理やデータの見方が非常に問題となっている。そこで、本論文では POD に着目した。POD は乱流学者 Lumley によって 1960 年代に考案された手法であり、得られた非定常データに対して固有値解析を実施する事でデー

タを表現するために最適な基底を数学的に算出できる。つまり、複雑な乱流構造を固有モードの積み重ねとして考える事で、特徴的な構造を抽出する事が可能となる。しかし、多くの研究者は本手法を現象分析では無く、計算規模や分析規模の削減に用いていた。これは、直行化された POD モードが持つ物理的な意味を理解し難いためである。即ち、POD モードと物理現象の関連付けが可能となれば、POD は現象分析に最適なツールに成り得ると考えた。そこで、本論文では POD が持つ物理的な意味を考察した上で、POD 結果（流れ）とファン性能の関連付けを行うための考え方を提案した。具体的には、相関の高いモードの和を取り、新たな基底を再構築する事で POD 結果を一つの大きな現象として表し、この結果を実験結果と比較することで実現象とファン性能の関連付けを行う方法であり、冷却ファンの計算設計への適用手法としてまとめた。

論文審査結果の要旨

提出された論文を基に審査し、以下のような結果となった。

本論文では、自動車のエンジン冷却ファンを対象に高効率低騒音冷却ファンの計算設計手法の構築を最終目的として、(1)軸流ファンの設計指針の提案、および、(2)POD(Proper Orthogonal Decomposition,固有値直行分解)の計算設計への適用について、詳細な検討を行っている。各々の検討において、設計の目標となる特性を決めている本質的な原因を、主に数値流体力学(CFD)を用いて緻密に追及し、従来にないユニークな結論を導いており、この研究成果は、工学的にも工業的にも有用性の高い内容にまとめられていることを確認した。

軸流ファンの設計指針の提案については、プロペラファンの設計者が古くから用いている多数のノウハウや通説を再検証するため、系統的な条件で性能分析し、それらに理論的な形で意味付けを行って統一した設計指針を導き出している。この論文で特筆すべき点としては、一枚翼のファンの特性を基にして、複数枚数のファンの特性を評価するための指標を提案した点であり、この指標を基にすることにより、従来からの通説を覆し、特性を統一的に説明、予測、評価することに成功している。この結果は、工学的にも、工業的にも有用性の高い成果としてまとめられており、今後のファンメーカーの設計に強い影響を与える提案であることが期待できる。

PODの計算設計への適用については、超大規模計算で出力される膨大な量の結果分析に関する、次世代を睥睨した、新しい手法の提案である。この論文で特筆すべきは、従来のPODによる分析が、基底分解した際の最大パワーのモードに注目することが多く、その基底モードと物理現象との関係が不透明であったことに対し、本論では、基底間の相関性に着目して、相関性の高い複数のモードを再結合させ、騒音の原因となる現象を直感的に把握できる手法を開発することに成功した点である。この手法の開発過程で、こうした扱いが有意であることを示すために、単純な乱流現象に対してこの扱いが有効であることを、理論と計算の両面から検証している点が特徴である。こうして構築された方法によって、ファンのブレード周りの乱れ構造を、物理的な原因ごとに分類して可視化することができるようになり、冷却ファンの高効率化や静粛化のための翼形状開発に大きく貢献することが期待できる。また、この手法は、対象が冷却ファンばかりではなく、乱流現象を含むあらゆる流体問題の検討に応用可能であり、工学的にも有用性が高いと言える。

本研究は、国内でも最大規模を誇る「京」コンピュータを用いて進められたものであり、従来にない大規模な計算による検討に裏付けされている点で評価される。さらに、将来、超大規模な計算が普及した時代に必要とされる技術が含まれている点でも価値が高い。また、この研究過程では、冷却ファン性能に対する精度の高い数値計算予測方法を考案しており、そこで得られた知見も、開発現場の設計者にとって有用性が高いと考えられる。

提出された論文では、予備審査段階において、各審査委員から出された疑問、助言やコメントに関しても、最終的に十分な追加検討がなされていることを確認した。

以上より、小林裕児氏より提出された「高効率低騒音冷却ファンの計算設計手法に関する研究」に関する論文は、博士論文として十分な価値があると判断した。

氏 名 (本籍)	劉 功義 (中国)
学 位 の 種 類	博士 (工学)
学 位 記 番 号	甲第 139 号
学位授与の日付	平成 27 年 3 月 19 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学 位 論 文 主 題	プロジェクトマネジメントの質向上のための定量的管理手法に関する研究
論 文 審 査 委 員	(主査) 教授 横山 真一郎 教授 森 博彦 教授 山本 尚生 名誉教授 三品 勉 (秋田県立大学 教授)

論文内容の要旨

プロジェクトは、活動から生み出す成果物に独自性があり、開始と終了の期限が設けて実施する有期的な活動である。このプロジェクトが目標を達成して成功するためのマネジメント活動として、プロジェクトマネジメントが実施される。これまでにプロジェクトマネジメントの質向上の取り組みとして、方法論や手法の研究、ステークホルダ間の相互理解を促進するための国際標準化の整備が進められてきた。しかしながら、近年においても失敗するプロジェクトは少なくない。

プロジェクトのライフサイクルは、プロジェクト開始前の立ち上げ段階と、計画を立案して実行する運用段階、および終結段階の 3 段階に分けられる。IT システム開発や競技施設の建築といった納期の順守を重要な目標として実施されるプロジェクトにおいては、立ち上げ段階での適切な目標と実現方法の設定と、運用段階での問題発生 of 未然防止と問題発生時の影響を最小化とするための状況把握が、プロジェクトマネジメントの質向上における課題となる。これらの課題を解決するために本研究では、立ち上げ段階と運用段階の課題を解決する定量的管理手法を提案し、納期を重要な目標として実施されるプロジェクトのプロジェクトマネジメントの質向上を目的とした。

まずプロジェクトの立ち上げ段階では、要求と実現方法の妥当性を評価するための QFD(Quality Function Deployment)を用いた要求分析手法を提案した。提案した手法は、要求分析プロセスと、それを実現する要求分析のための RA-QFD(Requirement Analysis QFD)、さらにプロセスと RA-QFD の進捗を可視化する RA-Grid 図で構成される。提案した要求分析プロセスと RA-QFD は、要求を組織の理念、ステークホルダの価値から要求に展開し、サービスの概念を用いてサービス要求に変換する。また QFD の対応表を用いて要求の重要度に基づく成果物の要素の重要度評価を可能とする。これらにより、従来難しかった要求の背景の明確化とステークホルダ間の相互で理解しやすい表現へ要求を変換することによるコミュニケーションの促進、さらに整合性のとれた要求と成果物の要素の重要度評価を可能とする。この提案した RA-QFD は要求の充足度や成果物の比較のための定量的評価の基盤となる。

次に運用段階では、問題発生 of 未然防止と状況を把握するための基本的な管理活動であるリスク管理、スキル管理、進捗管理に対して、定量的な管理手法を提案した。まずリスク管理の定量的管理手法として、時間経過を考慮した FT(TDFT: Time-Dependent Fault Tree)を提案し、進捗により変化するプロジェクトリスクを評価し、コントロールする方法を整理した。

提案した **TDFT** を用いることで、リスクの発生メカニズムを可視化し、プロジェクト全体の危険度とリスク原因の重要度を定量的に評価することが可能となる。このことは時点ごとに複数の **FT** を作成することで実現するのではなく、1つの **FT** で表現するところに **TDFT** の特徴がある。また評価した結果を用いて、計画時のリスク低減の支援と、管理図を用いた実行状況の監視を可能とする。次にスキル管理の定量的管理手法としては、プロジェクトのスキル不足の危険度をスキルリスクとして評価し、コントロールするためのスキルリスク評価プロセスを提案した。スキルリスク評価プロセスは、組織のスキル情報を活用し、**FT** を用いてスキルリスク発生の構造を明確にする。このことによりメンバーの重要度やプロジェクト全体のリスクが定量的に評価され、リスク評価と同様な計画時のスキルリスク低減の支援と実行状況の管理図を用いた監視を可能とする。このスキルリスクを評価においては、スキルの類似度を用いてスキルの補完関係を整理して、リスク低減に役立てることを特徴としている。進捗管理の方法としては、進捗を定量的に把握する手法である **EVM(Earned Value Management)** に対して、進捗と意思決定効果を予測する方法、さらにそれらを活用した進捗管理プロセスを提案した。従来 **EVM** においても進捗を予測する方法は検討されていたが、進捗を線形の関係性を前提として算出する方法であり、一般的なプロジェクトの進捗が描く **S** 字曲線とは乖離があった。そこで本研究では、プロジェクトの進捗データに対して **S** 字成長曲線を当てはめ、進捗を予測する方法を提案した。またその方法を応用して進捗に対する意思決定効果を予測する方法を整理し、進捗と意思決定効果の予測を用いた進捗管理プロセスを整理した。

本研究で提案した手法は、事例への適用を通して、実行可能性と有効性を検証した。また提案手法は、納期を重要な目標として実施されるプロジェクトを想定しているが、その他のプロジェクトにおいても汎用的に活用することが可能である。

論文審査結果の要旨

これまでにプロジェクトマネジメントの質向上の取り組みとして、方法論や手法の、ステークホルダ間の相互理解を促進するための国際標準化の整備が進められてきた。しかしながら、近年においても失敗するプロジェクトは少なくない。本研究では、立ち上げ段階と運用段階の課題を解決する定量的管理手法を提案し、納期順守を重要な目標として実施されるプロジェクトのプロジェクトマネジメントの質向上を目的とした。

まずプロジェクトの立ち上げ段階では、要求と実現方法の妥当性を評価するための QFD(Quality Function Deployment)を用いた要求分析手法を提案した。提案した手法は、要求分析プロセスと、それを実現する要求分析のための RA-QFD(Requirement Analysis QFD)、さらにプロセスと RA-QFD の進捗を可視化する RA-Grid 図で構成されている。

次に運用段階では、問題発生 of 未然防止と状況を把握するための基本的な管理活動であるリスク管理、スキル管理、進捗管理に対して、定量的な管理手法を提案した。まずリスク管理の定量的管理手法として、時間経過を考慮した FT(TDFT: Time-Dependent Fault Tree)を提案し、進捗により変化するプロジェクトリスクを評価し、コントロールする方法を整理した。

スキル管理の定量的管理手法としては、プロジェクトのスキル不足の危険度をスキルリスクとして評価し、コントロールするためのスキルリスク評価プロセスを提案した。スキルリスク評価プロセスは、組織のスキル情報を活用し、FT を用いてスキルリスク発生の構造を明確にする。このことによりメンバーの重要度やプロジェクト全体のリスクが定量的に評価され、リスク評価と同様な計画時のスキルリスク低減の支援と実行状況の管理図を用いた監視を可能とする。このスキルリスクを評価においては、スキルの類似度を用いてスキルの補完関係を整理して、リスク低減に役立てることを特徴としている。

進捗管理の方法としては、進捗を定量的に把握する手法である EVM(Earned Value Management)に対して、進捗と意思決定効果を予測する方法、さらにそれらを活用した進捗管理プロセスを提案した。従来 EVM においても進捗を予測する方法は検討されていたが、進捗を線形の関係性を前提として算出する方法であり、一般的なプロジェクトの進捗が描く S 字曲線とは乖離があった。提出論文では、プロジェクトの進捗データに対して S 字成長曲線を当てはめ、進捗を予測する方法を提案した。またその方法を応用して進捗に対する意思決定効果を予測する方法を整理し、進捗と意思決定効果の予測を用いた進捗管理プロセスを整理した。

さらにこの研究で提案された手法は、事例への適用を通して、実行可能性と有効性を検証している。また提案手法は、今回納期を重要な目標として実施されるプロジェクトを想定しているが、その他のプロジェクトにおいても汎用的に活用することが可能であると考えられる。

以上のように、提出された論文において提案されたプロジェクトマネジメントの質向上の取り組みとしての方法論や手法は新規性があり、事例の検討からその有効性も認められる。従ってこの論文は博士論文の条件を備えていると判断し、合格とした。